

## BETONUN DOLAYLI ÇEKME DENEYLERİNDE BOYUT ETKİSİ

Sıddık Şener<sup>1</sup>, Mustafa Altuğ Peker<sup>2</sup> ve Kadir Can Şener<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> İstanbul Bilgi Üniversitesi, İstanbul

<sup>3</sup> Purdue University, West Lafayette

### ABSTRACT

This study investigates the size effect in concrete by indirect tension tests such as the “splitting test” and “4-point loading test”. Size effect is observed in the strength of concrete specimens with different sizes. Cylinder and prism shaped specimens were tested for investigating size effect. Dimensions of the cylinders were 150x300, 75x150, 37.5x75mm, the prisms were 100x100x500, 50x50x250, 25x25x125mm. The cylinders were tested in a loading press (UTC-4730 3000) with 3000kN capacity, the prisms were tested in a MTS loading frame (C45.305) using 50kN load cell. All tests were performed under load control, which the test setup was programmed to reach the max. load in 3 minutes. Type II size effect formula for notched specimens proposed by Bazant were used for analysis of the experimental results.

### ÖZET

Bu çalışmada, dolaylı çekme deneylerinden “yarma deneyleri” ile “4 nokta yükleme deneylerinde” boyut etkisi araştırılmıştır. Boyut etkisi değişken boyutlu beton numunelerin göçme gerilmelerinde görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar için kullanılan numuneler silindirler ile prizmalardır. Silindirler 150x300, 75x150, 37.5x75mm, prizmalar ise 100x100x500, 50x50x250, 25x25x125mm boyutundadır. Silindirler 3000kN’luk beton basınç presinde (UTC-4730 3000kN), prizmalar 300kN’luk MTS (C45.305) yükleme çerçevesinde 50kN’luk yük hücresi kullanılarak denenmiştir. Bütün deneyler, yük kontrollü olarak en büyük yüke 3 dakikada ulaşılacak biçimde yapılmıştır. Deney sonuçları için Bazant’ın çentikli numuneler için önerdiği Tip II boyut etkisi bağıntısı kullanılarak deney sonuçları analiz edilmiştir.

### GİRİŞ

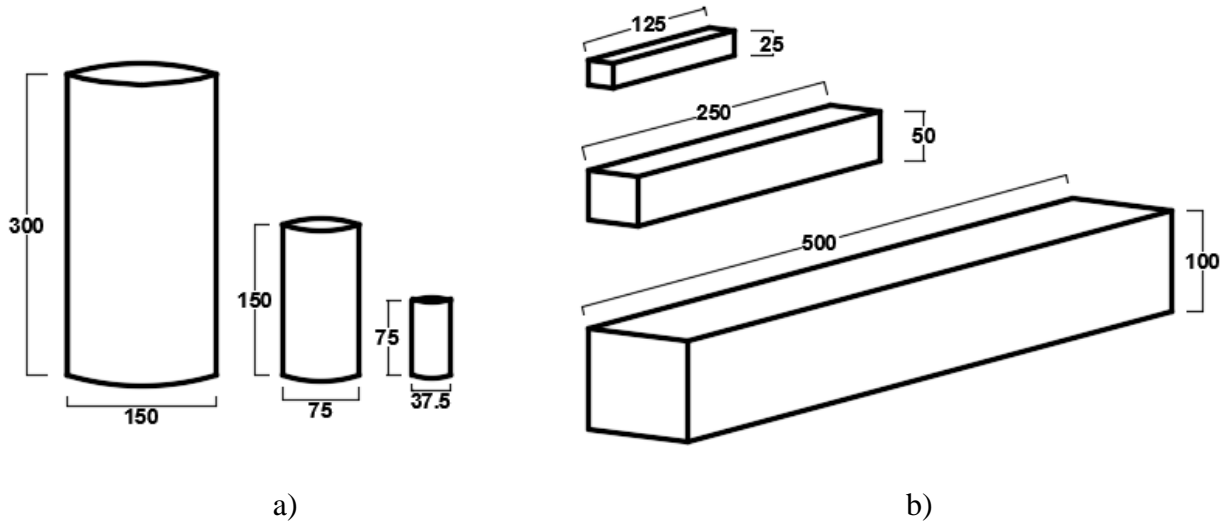
Beton yarı gevrek bir malzeme olup, göçmesinin plastik teoriler ile açıklanması doğru değildir. Beton elemanlarda yük altında önce yayılı çatlaklar oluşur, sonra yayılı çatlaklar eleman göçme yüküne yaklaşıncaya tek bir çatlağa dönüşerek eleman göçer. Beton yapıların modellenmesi için davranışın kırılma mekaniği ilkelerine dayandırılması gerekir. Beton yapılarda kırılma mekaniği kullanılarak gerçek davranış belirlenebilir. Kırılma mekaniğinin kullanılma nedenlerinden en önemlisi boyut etkisidir. Boyut etkisi aynı bir beton karışımdan hazırlanmış geometrik olarak benzer beton yapıların göçme yükleri karşılaştırıldığında, yapı boyutu  $D$  arttıkça, göçme gerilmesi  $\sigma_N$  nin azalması olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan araştırmalar, beton yapıların göçme yüklerinde boyut etkisi olduğunu göstermiştir. Beton yapıların göçme yüklerinde boyut etkisi üzerine yapılmış çalışmaları (i) betonarmenin çekme, kesme göçmesi, burulma [1,2], çekip çıkarma [3], aderans eki [4], çelik lifli beton [5], (ii) merkezi basınç yükü altındaki elemanların göçmesi; kompakt elemanlar [6], donatısız [7] ve donatılı [8] kolonlar, çentikli kolonlar [9], yüksek dayanımlı silindirler [10], (iii) eğilmede aşırı donatılı kirişlerde donatının akmadan basınç betonun ezilmesi ile göçmesi [11] olarak özetlenebilir. Yakın zamanda yapılan çalışmalar yalnız göçme yüklerinde değil, yük-yerdeğiştirme ile yük-mesnet dönmelerinde de boyut etkisinin olduğunu göstermiştir [12].

Dolaylı çekme deneylerinde silindirlerde yarma deneyleri (Brazilian's Test), prizmalarda 4 nokta yükleme (3 açıklıklı yükleme, Modulus of Rupture, Eğilmede çekme) yapılmıştır. Deney numunelerinde boyut etkisini araştırmak için İstanbul Bilgi Üniversitesinde geometrik olarak benzer üç farklı boyutta numuneler hazırlanmıştır. Boyut değişim aralığı 1:4'dür.

### DENEY ELEMANLARI

Bütün silindirlerde yüksekliğin, çapa oranı 2 olup silindir yüksekliği  $L$ , silindir çapı  $D$  ile orantılı olup silindirler 150x300, 75x150, 37.5x75mm boyutundadır (Şek.1a). Kare kesitli prizma (kiriş) boyutları ise 100x100x500, 50x50x250, 25x25x125mm'dir (Şek.1b). Numunelerde üç boyutta benzerlik olup, silindirlerin adlandırılmasında "C" yalnız beton silindirleri, "CP" ise polipropilen katkılı silindirleri göstermektedir. Prizmalarda ise "B" yalnız beton prizmaları, "BP" ise polipropilen katkılı prizmaları göstermektedir. Ardından numune sayıları gelmekte olup her bir boyuttan üçer adet dökülmüştür.



Şekil 1. Eleman boyutları (mm) a)silindir, b)kirişler.

Yarma deneyleri yapılan silindirler ile eğilmede çekme deneyleri için yapılan prizmalar 27 Mart 2017'de iki karışım olarak demir, ahşap kalıplara dökülmüştür. Betonun dökümü sırasında sarsma tablası kullanılmış, numunelerde yaş farkı oluşmaması için aynı bir günde 4 Mayıs 2017'de silindirler 37 günlük iken, prizmalar 10 Mayıs 2017'de 44 günlük iken denenmiştir. Yükleme çerçevesinin katılığının sonuçlara etkisini önlemek amacı ile bütün silindirler 300t'luk aynı bir beton basınç presinde (UTC-4730 3000kN) (Şek.2a), prizmalar 300kN'luk MTS (C45.305) yükleme çerçevesinde 50kN'luk yük hücresi kullanılarak denenmiştir. Bütün deneyler, yük kontrollü olarak en büyük yüke 3 dakikada ulaşılacak biçimde İstanbul Bilgi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



a)



b)

Şekil 2. Deney sırasında a) silindir (C9), b) kiriş (BP7)

Beton karışım oranı polipropilen katkılı numunelerde çimento/su/kaba agrega/kum/polipropilen=1/0.45/3.03/1.89/0.028 (ağırlık olarak), polipropilen katkısızlarda da ise aynı karışım oranı kullanılmıştır. Polipropilen lif olarak çekme dayanımı 550-750MPa olan, 50-54mm uzunluğundaki Polifer 850 kullanılmıştır. Karışımında kullanılan en büyük ince agrega boyutu 5mm, en büyük kaba agrega boyutu 12.5mm'dir. Polipropilen katkılı numunelerde 0.196kg polipropilen kullanılmıştır. Beton karışım bileşenleri Çiz.1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Beton karışımın bileşenleri

Bileşen	(kg)
Çimento	6.77
Su	3.05
Kaba Agrega	20.51
Kum	12.8
Polipropilen	-

### BOYUT ETKİSİ BAĞINTISI

Deney sonuçları için Bazant'ın çentikli numuneler için önerdiği Tip II boyut etkisi bağıntısı kullanılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Yapı dayanımında boyut etkisi, yapının  $\sigma_N$  bilinen dayanımı olmak üzere, en büyük (göçme) yükünden elde edilerek Bağ.(1) ile tanımlanır.

$$\sigma_N = \frac{c_N P_u}{bD} \quad (1)$$

Burada,  $D$  kiriş ya da yapının karakteristik boyutu olup silindir için çap ya da yükseklik, kiriş için herhangi bir boyut,  $b$  silindir için  $\pi$ , kiriş için genişlik,  $c_N$  uygunluk için seçilen boyutsuz katsayıdır. Çentikli elemanlar için Tip II ise Bağ.(2) verilmiştir.

$$\sigma_N = \frac{\sigma_0}{\sqrt{1 + D / D_0}} \quad (2)$$

Burada  $\sigma_0$ ,  $D_0$  deney sonuçlarından bulunacak ampirik sabitlerdir.  $\sigma_N$ =nominal gerilme olup Bağ.(1) ile göçme yüklerinden bulunacaktır.  $\sigma_0$ =malzemeye, yükleme bağlı sabit,  $D_0$ =yapı geçiş boyutudur.

## DENEY SONUÇLARI

Silindirler ile kirişlerin göçme yükleri ayrı ayrı incelenecektir.

### Silindirlerde Yarma Deneyleri:

Yükleme presinden elde edilen silindirlerin boyutları, yarma yükleme sonrası elde edilen göçme yükleri, göçme gerilmesi ile göçme biçimleri Çiz.2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Silindir yarma deneyleri

Silindir	$d$ (mm)	$L$ (mm)	$P_u$ (kN)	$\sigma_N$ (MPa)	Çatlak dağılımı
C1	37,5	75	12,18	2,76	Ezilme
C2	37,5	75	10,50	2,38	Ezilme
C3	37,5	75	10,92	2,47	Ezilme
C4	75	150	34,66	1,96	Yarılma
C5	75	150	34,45	1,95	Yarılma
C6	75	150	42,44	2,40	Yarılma
C7	150	300	144,70	2,05	Yarılma
C8	150	300	162,06	2,29	Yarılma
C9	150	300	108,70	1,54	Yarılma
CP1	37,5	75	10,50	2,38	Ezilme
CP2	37,5	75	12,18	2,76	Ezilme
CP3	37,5	75	11,13	2,52	Ezilme
CP4	75	150	40,55	2,29	Ezilm-Yarılma
CP5	75	150	46,85	2,65	Ezilme
CP6	75	150	44,75	2,53	Ezilme
CP7	150	300	157,72	2,23	Yarılma
CP8	150	300	159,02	2,25	Yarılma
CP9	150	300	141,02	1,99	Yarılma

Çiz.2’de  $d$ :silindir çapını,  $L$ :silindir yüksekliğini,  $P_u$ :göçme yükünü,  $\sigma_N$ :göçme gerilmesini göstermektedir. Son kolonda göçme biçimini göstermektedir.

Göçme sonrası polipropilen katkısız silindirler Şek.3a’da, polipropilen katkılı ise Şek.3b’de topluca gösterilmiştir.



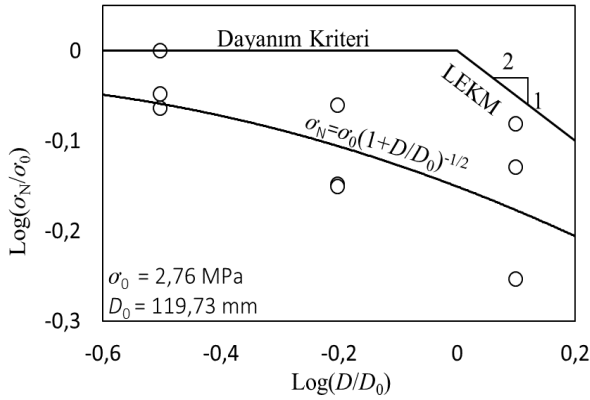
a)



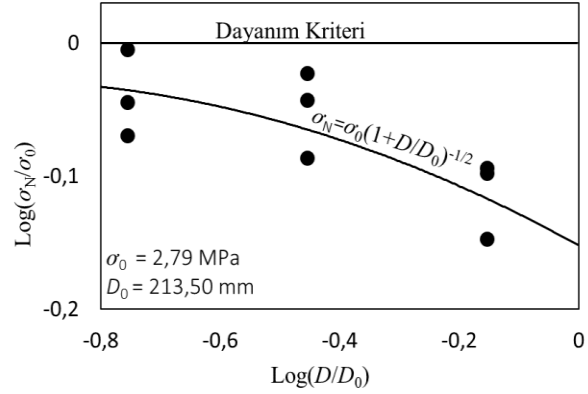
b)

Şekil 3. Göçme sonrası a) beton, b) polipropilen katkılı silindirler

Şek.3a'dan da görüleceği gibi beton silindirler genelde ilk çatlak ile birlikte gevrek göçer iken, polipropilen katkılılar daha çok çatlaklı (Şek.3b) yani ezilme, plastik biçimde göçmüşlerdir. Silindirlerin boyut etkisi eğrileri Şek.4'de verilmiştir.



a)



b)

Şekil 4. Silindirlerde boyut etkisi eğrileri, a) beton, b) polipropilen katkılı

Boyut etkileri eğrileri karşılaştırıldığında polipropilen katkısızların (Şek.4a), polipropilen katkılılara göre daha gevrek göçtüğü görülmektedir.

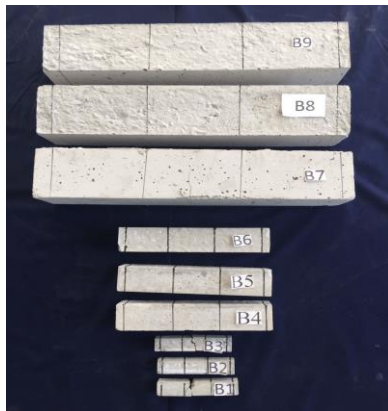
#### Kirişler:

MTS kapalı yükleme çerçevesinde 4 nokta yüklemesinde kirişlerin boyutları, deney sonrası elde edilen göçme yükleri, göçme gerilmeleri Çiz.3'de verilmiştir.

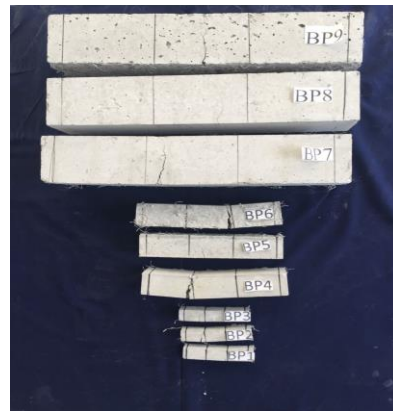
Çizelge 3. Kirişlerde dört nokta yüklemesi

Kiriş	$b$ (mm)	$L$ (mm)	$P_u$ (kN)	$\sigma_N$ (MPa)	Çatlak Yeri
DB1	100	500	6,51	2,93	Yük altında
DB2	100	500	6,49	2,92	Açıklık ortasına yakın
B1	25	125	0,40	2,86	Yük altında
B2	25	125	0,41	2,94	Yük altında
B3	25	125	0,33	2,34	Açıklık ortası
B4	50	250	1,45	2,61	Sabit M kenara yakın
B5	50	250	1,93	3,47	Açıklık ortası
B6	50	250	1,79	3,22	Sabit M kenara yakın
B7	100	500	5,55	2,50	Açıklık ortası
B8	100	500	7,56	3,40	Sabit M kenara yakın
B9	100	500	4,25	1,91	Yük altında
BP1	25	125	0,37	2,70	Yük altında
BP2	25	125	0,47	3,42	Sabit M dışı
BP3	25	125	0,30	2,14	Sabit M dışı
BP4	50	250	1,53	2,76	Sabit M dışı
BP5	50	250	Yüklemeye hatası		Açıklık ortası
BP6	50	250	1,95	3,50	Yük altında
BP7	100	500	6,94	3,12	Yük altında
BP8	100	500	6,42	2,89	Açıklığa yakın
BP9	100	500	6,91	3,11	Açıklık ortası

Çiz.3’de  $b$ :kare kesitli kiriş boyutunu,  $L$ :kiriş uzunluğunu,  $P_u$ :göçme yükünü,  $\sigma_N$ :göçme gerilmesini göstermektedir. Son kolonda kirişlerde göçmenin başladığı ilk çatlak yerini göstermektedir. Polipropilen katkısız kirişlerde göçme genelde sabit moment bölgesi içinde olur iken, polipropilen katkılıların azda olsa bazılarında (BP2, BP3, BP4) sabit moment bölgesi dışında olmuştur. Bunun en büyük nedeni büyük olasılıkla polipropilen dağılımının kirişlerde düzgün dağılı olmayıp topaklanmanın, yoğunlaşmanın olması sonucu olduğu düşünülmektedir. Şek.5’te göçme sonrası kirişler topluca gösterilmiştir.



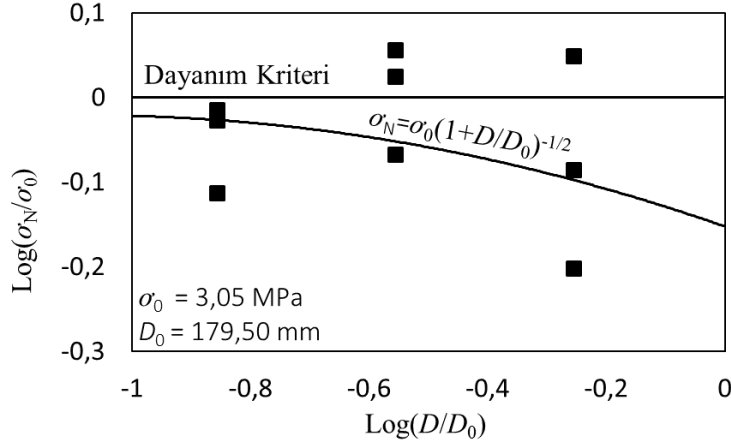
a)



b)

Şekil 5. Göçme sonrası a) beton, b) polipropilen katkılı kirişler

Polipropilen katkısız kirişler Şek.5a'da, polipropilen katkılı ise Şek.5b'de topluca gösterilmiştir. Polipropilen katkısız kirişlerde boyut etkisi elde edilememiştir. Polipropilen katkılılarda ise boyut etkisi Şek.6'da verilmiştir.



Şekil 6. Polipropilen katkılı kirişlerde boyut etkisi

### SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1-Boyut değişim aralığı 1:4 olan silindirler ile polipropilen katkısız kirişler dışında göçme yüklerinde boyut etkisi görülmüştür.
- 2-Numune boyutu arttıkça, boyut etkisi, gevreklik artmıştır.
- 3-Genelde polipropilen katkısız silindirler yarıлма (gevrek), katkılı silindirlerin ezilme (plastik) biçiminde göçtüğü görülmüştür.
- 4-Polipropilen katkısız kirişlerde boyut etkisi görülmemiş olup propilen katkılılarda görülmüştür. Bunun nedeni büyük olasılıkla polipropilen dağılımının kirişlerde düzgün dağılım olmayışındandır.
- 5- Boyut etkisi yönetmeliklerde göz önüne alınmalıdır.

### KAYNAKLAR

- [1] Z.P. Bazant, S. Şener, Size effect of in torsional failure of concrete beams, *J.Struct.Eng.-ASCE*, 113 (1987) 2125-2136. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1987)113:10(2125)
- [2] Z.P. Bazant, S. Şener, P.C. Prat, Size effect tests of torsional failure of plain and reinforced concrete beams, *Mater. Struct.*, 21 (1988) 425-430. doi:10.1007/BF02472322
- [3] Z.P. Bazant, S. Şener, Size effect in pull-out tests, *ACI, Mater. J.* 85 (1988) 347-351. doi:
- [4] S. Şener, Z.P. Bazant, E. Becq-Giraudon, Size effect on failure of bond splices of steel bars in concrete beams, *J. Struct. Eng.-ASCE*, 125 (1999) 653-660. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:6(653)
- [5] S. Şener, M. Begimgil, Ç.M. Belgin, Size effect on failure of concrete beams with and without steel fibres, *J. Mater. Civil Eng.-ASCE*, 14 (2002) 436-440. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:5(436)

- [6] B.I.G Barr, H.F. Abuisaf, S. Şener, Size effect and fracture energy studies using compact compression specimens, *Mater. Struc.*, 31 (1998) 36-41. doi:10.1007/BF02486412
- [7] S. Şener, B.I.G. Barr, H.F. Abusaf, Size effect tests in unreinforced concrete columns, *Magazine of Concrete Res.*, 51 (1999) 3-11. doi:10.1680/mac.1999.51.1.3
- [8] S. Şener, B.I.G. Barr, H.F. Abusaf, Size effect in axially loaded reinforced concrete columns, *J. Struct. Eng.-ASCE*, 130 (2004) 662-670. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:4(662)
- [9] V. Koç, S. Şener, Size effect in normal and high strength concrete with different notches under the axial load, *J. Mater. Civil Eng.-ASCE*, 21 (2009) 433-445. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:9(433)
- [10] S. Şener, Size effect tests of high strength concrete, *J. Mater. Civil Eng.-ASCE*, 9 (1997) 46-48. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(1997)9:1(46)
- [11] Ç.M. Belgin, S. Şener, Size effect on failure of overreinforced concrete beams, *Engin. Fract. Mech.*, 75 (2008) 2308-2319. doi:10.1016/j.engfracmech.2007.09.006
- [12] Y. Çağlar, S. Şener, Size effect tests of different notch depth specimens with support rotation measurements, *Engin. Fract. Mech.*, 157 (2016) 43-55. doi:10.1016/j.engfracmech.2016.02.028